

TEKNOLOGI UJI TANAH UNTUK PENYUSUNAN REKOMENDASI PEMUPUKAN BERIMBANG TANAMAN PADI SAWAH¹⁾

Soil Test Technology for Developing Fertilizer Recommendations of Lowland Rice

Muhammad Al-Jabri

Balai Penelitian Tanah
Jalan Tentara Pelajar No. 12, Bogor 16114
Telp. (0251) 8336757, Faks. (0251) 8321608
e-mail: balittanah@litbang.deptan.go.id

Diajukan 3 November 2012; Disetujui 21 Januari 2013

ABSTRAK

Teknologi uji tanah merupakan alat bantu dalam menentukan ketersediaan hara dalam tanah secara akurat untuk penetapan pemupukan berimbang sesuai kebutuhan tanaman. Pemberian pupuk anorganik secara terus-menerus dengan takaran yang melebihi kebutuhan tanaman dapat mengganggu keseimbangan hara dalam tanah karena menurunnya pH tanah dan terakumulasinya hara P dan K sehingga terjadi *nutrient disorder*. Masalah ini dapat diatasi dengan pengelolaan hara spesifik lokasi yang didukung dengan teknologi uji tanah. Penerapan teknologi uji tanah dalam pemupukan berimbang perlu didukung peta status hara P dan K, perangkat uji tanah sawah (PUTS), dan perangkat lunak rekomendasi pemupukan. Pada masa mendatang, pengembangan teknologi uji tanah diarahkan untuk meningkatkan produktivitas lahan dan efisiensi pemupukan dengan menyempurnakan pemupukan berimbang spesifik lokasi dan terpadu antara pupuk anorganik dan pupuk organik serta bahan pembenah tanah. Strategi pengembangan teknologi uji tanah meliputi: (1) mengganti metode analisis tanah yang semula menggunakan *single nutrient soil analysis* (SNSA) dengan *multi-nutrient soil analysis* (MNSA); (2) memvalidasi dan memperbarui peta status hara P dan K skala 1:250.000 dan 1:50.000; (3) mengembangkan PUTS tidak hanya untuk mengukur status hara P dan K, tetapi juga unsur hara lainnya seperti N, S, Ca, dan Mg; (4) membangun jejaring kerja dan keterkaitan antara laboratorium uji tanah dan kelompok tani dalam rangka sosialisasi rekomendasi pemupukan berimbang; (5) menyempurnakan Permentan No. 40/2007 tentang Rekomendasi Pemupukan N, P, dan K pada padi sawah untuk meningkatkan akurasi rekomendasi pemupukan spesifik lokasi; dan (6) mendekatkan teknologi uji tanah kepada petani dengan membentuk klinik uji tanah terpadu (*mobile soil test*). Strategi terakhir ini dapat melengkapi upaya pencapaian *good agricultural practices* (GAP) yang sangat berhubungan dengan *precision farming*, termasuk di dalamnya sifat tanah, varietas padi, dan rekomendasi pemupukan spesifik lokasi yang tepat jumlah, waktu, dan cara pemberiannya.

Kata kunci: Uji tanah, rekomendasi pemupukan, padi sawah

ABSTRACT

Soil test technology is an invaluable tool in determining the availability of soil nutrient status accurately in accordance with plant requirement. Application of inorganic fertilizer continuously at a rate that exceeds the plant needs can lead to nutrient imbalance due to the decreasing soil pH and accumulation of P and K in the soil resulting in nutrient disorder. This problem can be solved by specific location nutrient management supported with soil test technology. Utilization of soil test technology in balanced fertilizer application needs to be supported by P and K nutrient status maps, soil test kit, and fertilizer recommendation software. In the future, development of soil test technology aimed to improve land productivity and fertilizer efficiency by improving site-specific balanced fertilizer application integratedly with inorganic and organic fertilizers and other materials as soil conditioner. Strategies for developing soil test technology include: (1) replacing the original soil analysis method using a single nutrient soil analysis (SNSA) with multi-nutrient soil analysis (MNSA) and validating it in paddy soil in Indonesia; (2) validating and updating P and K nutrient status maps of 1:250,000 scale and 1:50,000 scale periodically; (3) developing soil test kit not only to measure P and K nutrient status, but also other nutrients such as N, S, Ca, and Mg; (4) establishing networks and linkages between soil testing laboratories and farmer groups in order to socialize balanced fertilizer recommendations; (5) improving the Regulation of the Minister of Agriculture No. 40/2007 regarding the recommendation for N, P, and K fertilizer on rice to improve the accuracy of site-specific fertilizer recommendations; and (6) closing soil test technology to farmers as end-user to form an integrated ground test clinic (mobile soil test). This last strategy is to complement the achievement of good agricultural practices (GAP), which is associated with precision farming including the nature of the soil, plants, and site-specific fertilizer recommendations in exact rate, time, and application method.

Keywords: Soil testing, fertilizer recommendations, lowland rice

¹⁾ Naskah disarikan dari bahan Orasi Profesor Riset yang disampaikan pada tanggal 19 Juli 2011 di Bogor.

PENDAHULUAN

Penggunaan pupuk anorganik N, P, dan K secara terus-menerus dengan takaran tinggi mengakibatkan ketidakseimbangan hara dan pencemaran lingkungan (Sing 2000; Las *et al.* 2006). Ketidakseimbangan hara ditandai oleh tidak sejalannya kurva penggunaan pupuk anorganik (Adiningsih 1992) karena nisbah kenaikan hasil padi terhadap jumlah pupuk yang diberikan semakin kecil. Masalah ini dikenal dengan *levelling-off* atau peningkatan produktivitas menjadi stagnan dan *input* produksi tidak efisien (Hanson 1994).

Ketidakseimbangan hara dapat dihindari jika takaran pupuk mengacu pada konsep pemupukan berimbang yang didasarkan analisis hara tanah. Rekomendasi pemupukan berimbang spesifik lokasi adalah takaran pupuk yang diberikan sesuai dengan status hara di dalam tanah dan kebutuhan tanaman. Pemupukan berimbang spesifik lokasi menjamin keseimbangan hara dalam tanah, selama belum terjadi penurunan C-organik yang dapat memicu degradasi tanah. Untuk memaksimalkan efisiensi serapan hara pupuk dan mengoptimalkan produktivitas, kandungan C-organik tanah sawah harus $>1,5\%$ (Djaenudin *et al.* 2003).

Teknologi uji tanah merupakan alat bantu dalam menentukan pemupukan berimbang yang didasarkan pada status hara tanah untuk mencukupi kebutuhan tanaman, yang diketahui melalui analisis tanah (Westerman 1990). Petani belum sepenuhnya memahami konsep dan implementasi pemupukan berimbang sebagai salah satu dari sistem Panca Usaha Tani, sehingga pupuk anorganik yang diberikan lebih tinggi atau lebih rendah dari takaran yang dianjurkan. Selain itu, jerami padi yang seharusnya dikembalikan ke tanah sawah sebagai kompos, justru dibakar. Pentingnya teknologi uji tanah menginspirasi penulis untuk mengangkat topik teknologi uji tanah dalam penyusunan rekomendasi pemupukan berimbang untuk tanaman padi sawah.

EVOLUSI SISTEM PEMUPUKAN PADI DI INDONESIA

Sistem pemupukan tanaman padi sawah di Indonesia mengalami perkembangan yang sangat pesat, mulai dari pertanian subsisten hingga pertanian terpadu. Secara garis besar evolusi sistem pemupukan tanaman padi terbagi menjadi empat periode, yaitu periode prarevolusi hijau, awal revolusi hijau, pemupukan berimbang, dan periode pengelolaan hara spesifik lokasi.

Periode Pra-Revolusi Hijau Sebelum Tahun 1970

Padi yang ditanam oleh petani pada periode pra-revolusi hijau didominasi oleh varietas lokal (Zaini 2009) yang kurang responsif terhadap pupuk anorganik. Sebagian besar petani masih bertumpu pada pemberian pupuk organik dari jerami dan pupuk kandang. Tingkat produktivitas padi varietas lokal kurang dari 3 t/ha dengan hanya satu kali tanam dalam setahun dan tanah belum terdegradasi.

Periode Awal Revolusi Hijau Tahun 1970-1985

Sejak periode awal revolusi hijau yang dimulai pada tahun 1970 hingga 1985, Panca Usaha Tani mulai dikembangkan melalui program Bimas dengan menggunakan padi varietas unggul baru (VUB) (Pirngadi 2009) seperti PB5 dan PB8 yang memiliki sifat umur pendek, anakan banyak, sangat responsif terhadap pemupukan, dan produktivitas tinggi. Penggunaan VUB ini mampu meningkatkan laju pertumbuhan produksi padi nasional dari 5,3% pada tahun 1970-1980 menjadi 6,3% pada tahun 1980-1985 (Apriyantono *et al.* 2009). Meskipun pada tahun 1984 Indonesia mampu berswasembada beras, prestasi tersebut tidak dapat dipertahankan secara berkelanjutan karena jumlah penduduk meningkat, laju pertumbuhan produksi menurun (*levelling off*), dan belum banyak ditemukan varietas padi berdaya hasil tinggi lainnya kecuali varietas Cisadane.

Periode Pemupukan Berimbang Tahun 1985-2000

Meskipun dosis pemupukan padi sawah sudah dianjurkan berimbang, sebagian besar petani justru menggunakan pupuk anorganik secara berlebihan sehingga terjadi penurunan laju pertumbuhan produksi padi nasional dari 3,15% pada tahun 1985-1990 menjadi 1,49% pada tahun 1990-2000 (Apriyantono *et al.* 2009). Pemberian pupuk dengan takaran yang lebih besar dari yang dianjurkan mengakibatkan terjadinya kerusakan sifat kimia tanah (pH tanah menurun), sifat fisika tanah (BD tanah naik), dan sifat biologi tanah (populasi organisme tanah turun).

Selama periode ini, swasembada beras tidak dapat dipertahankan dan efisiensi penggunaan pupuk buatan cenderung menurun. Penurunan efisiensi penggunaan pupuk disebabkan: (1) pupuk disebar

pada permukaan tanah dan tidak tercampur dengan tanah sedalam 20 cm, sehingga unsur hara banyak yang hilang karena tercuci atau menguap; (2) tanah sawah diolah relatif dangkal sehingga perakaran tanaman berada pada lapisan tanah atas yang tipis (< 8 cm), yang berakibat tanaman padi mudah rebah bila terjadi angin kencang.

Periode Pelaksanaan Pengelolaan Hara Spesifik Lokasi Tahun 2000-2011

Penurunan laju pertumbuhan produksi padi nasional pada tahun 2000-2006 mencapai titik terendah 0,82% (Apriyantono *et al.* 2009), sehingga swasembada beras tetap tidak dapat dipertahankan. Pada periode ini muncul gagasan baru untuk memperbaiki sistem budi daya tanaman padi ke arah Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT) yang antara lain mempertimbangkan aspek pemupukan berimbang spesifik lokasi.

Pengembangan PTT dimulai dengan program Pengembangan Produksi Padi Terpadu (P3T) pada tahun 2002-2003. Selanjutnya melalui Program Peningkatan Produksi Beras Nasional (P2BN) yang diawali pada tahun 2008, PTT semakin digalakkan dengan menggunakan varietas padi berdaya hasil tinggi dan tahan terhadap organisme pengganggu tanaman (OPT), seperti Ciherang, Mekongga, Cigeulis, Cibogo, Inpari 1, Inpari 3, dan Inpari 6. Program ini mampu meningkatkan laju pertumbuhan produksi padi nasional 5,34% pada tahun 2006-2008 (Apriyantono *et al.* 2009).

Salah satu komponen teknologi dalam pendekatan PTT adalah pengelolaan hara spesifik lokasi (PHSL) (Suryana *et al.* 2007). PHSL merupakan cara menentukan rekomendasi pemupukan untuk mencapai tingkat ketersediaan hara esensial yang seimbang di dalam tanah untuk meningkatkan produktivitas, mutu hasil tanaman, efisiensi pemupukan, dan menghindari pencemaran lingkungan.

TEKNOLOGI UJI TANAH

Penerapan pendekatan PHSL dalam PTT antara lain menggunakan teknologi uji tanah, seperti Perangkat Uji Tanah Sawah (PUTS). Tujuannya adalah untuk menentukan ketersediaan hara dalam tanah secara akurat lalu menginformasikannya ke petani bahwa tanahnya telah kekurangan atau kelebihan beberapa unsur hara. Teknologi uji tanah bermanfaat dalam menentukan rekomendasi pemupukan secara tepat sehingga usaha tani lebih menguntungkan.

Sejarah perkembangan teknologi uji tanah bertitik tolak dari hukum minimum Liebig yang dicetuskan oleh Justus von Liebig (1803-1873) sebagai Bapak Uji Tanah. Hukum minimum Liebig dideklarasikan pada tahun 1840, yang menyatakan bahwa jika ketersediaan satu unsur hara berada di bawah nilai batas kritis, maka unsur hara tersebut dapat menjadi faktor pembatas pertumbuhan tanaman.

Pada awalnya teknologi uji tanah di Eropa hanya mengukur hara total, tetapi sejak tahun 1930-an (Bray, Truog, Morgan, Spurway, dan Hester) mengukur hara dalam bentuk tersedia sebagai alternatif untuk mensubstitusi hara total dengan menggunakan larutan ekstraksi *single nutrient soil analysis* (SNSA). Kelemahan SNSA adalah setiap hara diekstrak dengan larutan yang berbeda, seperti metode Bray 1 dan Bray 2 untuk mengukur status ketersediaan hara P, Truog untuk tanah mineral masam, dan Olsen untuk tanah mineral basa. Status ketersediaan hara lainnya diekstrak dengan larutan yang berbeda pula.

Dengan berkembangnya teknologi uji tanah, pada tahun 1984 Amerika Serikat mulai menerapkan *multi-nutrient soil analysis* (MNSA) (Jones dan Wolf 1984). Keuntungan MNSA (ekstraksi Morgan-Wolf 1 N kalium asetat yang disangga pada pH 4,8 dengan asam asetat dan DTPA) adalah dapat digunakan untuk mengekstrak semua unsur hara makro dan mikro tersedia dalam tanah, dengan karakteristik tanah mempunyai pH masam sampai netral, kapasitas tukar kation (KTK) 2-35 cmol(+)/kg, dan tekstur tanah pasir, lempung berpasir, lempung, lempung liat berdebu, atau tanah organik.

Teknologi uji tanah pertama kali dikembangkan di Indonesia pada tahun 1970 oleh peneliti Balai Penelitian Tanah, Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian (dulu Lembaga Penelitian Tanah/Pusat Penelitian Tanah) dengan menggunakan SNSA untuk menduga kecukupan hara. Kecukupan hara bagi tanaman diduga melalui teknik uji tanah sebagai dasar pengembangan PUTS, yang meliputi tujuh tahap kegiatan sebagai berikut: (1) survei karakterisasi tanah di wilayah penelitian; (2) studi peninjauan hara dari tipe tanah; (3) studi korelasi antara hara terekstrak dan pertumbuhan tanaman untuk memilih metode ekstraksi terbaik; (4) penelitian kalibrasi uji tanah; (5) pendugaan kurva respons pemupukan; (6) penelitian efisiensi pemupukan; dan (7) rekomendasi pemupukan (Widjaja-Adhi 1993).

Rekomendasi pemupukan berimbang spesifik lokasi sesuai dengan status hara dan kebutuhan tanaman dapat meningkatkan efisiensi pupuk tanpa merusak

tanah dan menghindari pencemaran lingkungan. Teknologi uji tanah yang dipaparkan pada makalah ini hanya difokuskan pada hara P, K, S, Zn, dan kemasaman tanah (pH).

Uji Hara Fosfat (P)

Hara P terutama berperan dalam merangsang pertumbuhan akar, mempercepat pembungaan, pemasakan gabah, dan hasil gabah. Pada periode awal revolusi hijau (1970-1985), umumnya varietas unggul padi yang dikembangkan responsif terhadap pupuk P. Namun, pada periode pemupukan berimbang (1985-2000) dan periode PHSL (2000-2011) telah terjadi akumulasi residu P, sehingga tanaman padi tidak responsif terhadap pupuk P (Moersidi *et al.* 1989; Darmawan *et al.* 2006). Meskipun pada tanah sawah telah terjadi akumulasi residu P, petani tetap memberikan pupuk TSP/SP-36. Kebutuhan pupuk P tiap musim menurut peta keperluan P tanah sawah di Jawa dan Madura mencapai 265.000 ton. Jika pada saat itu petani mengurangi dosis pupuk P berdasarkan anjuran peta status hara P tanah sawah, maka uang yang dihemat cukup besar (Moersidi *et al.* 1989).

Di Indonesia, teknologi uji hara P telah dikembangkan sejak tiga dekade yang lalu (Al-Jabri *et al.* 1984c). Keakuratan pengukuran unsur hara P yang diekstrak dengan larutan SNSA sangat ditentukan oleh sifat tanah (Al-Jabri *et al.* 1987), unsur lain yang mengganggu pengukuran (Hallmark *et al.* 1982), perbandingan antara nisbah tanah dan larutan peng-ekstrak, dan waktu kocok (Widjik *et al.* 1984; Sholeh *et al.* 1996).

Penelitian berbagai metode ekstraksi P pada padi sawah dalam jangka panjang mengindikasikan bahwa metode ekstraksi P-HCl 25% berkorelasi nyata dengan hasil gabah dibanding metode ekstraksi P lainnya. Rekomendasi dipilah menjadi tiga kelas berdasarkan status hara P, yaitu 100 kg, 75 kg, dan 50 kg SP-36/ha masing-masing untuk status P rendah ($< 20 \text{ mg P}_2\text{O}_5/100 \text{ g}$), sedang ($20-40 \text{ mg P}_2\text{O}_5/100 \text{ g}$), dan tinggi ($> 40 \text{ mg P}_2\text{O}_5/100 \text{ g}$) (Tabel 1).

Kelas status ketersediaan hara P dengan larutan SNSA (Bray 1 dan Bray 2) untuk tanah sawah mineral masam bertekstur liat sering tidak dapat ditetapkan. Masalah ini diatasi dengan pendekatan kurva erapan P (*P sorption curve*) yang menjelaskan hubungan antara P larutan tanah dan P yang diadsorpsi dengan batas kritis P larutan tanah 0,01 ppm P (Al-Jabri *et al.* 1997).

Tabel 1. Kelas ketersediaan hara (batas kritis P), jenis pengeksrak, jenis tanah, dan tanaman.

Kelas ketersediaan hara	Jenis pengeksrak	Jenis tanah	Jenis tanaman	Lokasi percobaan
R : $< 20 \text{ mg P}_2\text{O}_5/100 \text{ g}$ S : $20-40 \text{ mg P}_2\text{O}_5/100 \text{ g}$ T : $> 40 \text{ mg P}_2\text{O}_5/100 \text{ g}$	P-HCl 25%	Alluvial, Regosol, Grumusol	Padi	Lapang
21 ppm P	P-Bray 2	Tanah mineral masam	Padi	Rumah kaca
R : $< 7,5 \text{ ppm P}$ S : $7,5-15 \text{ ppm P}$ T : $> 15 \text{ ppm P}$	P-Bray 2	Tanah mineral masam	Padi	Rumah kaca
R : $< 5,3 \text{ ppm P}$ S : $> 5,3 \text{ ppm P}$	P-Bray 2	Tanah mineral masam	Padi	Rumah kaca
6,5 ppm P	P-Bray 2	Tanah mineral masam	Padi	Rumah kaca
R : $< 8 \text{ ppm P}_2\text{O}_5$ S : $8-22 \text{ ppm P}_2\text{O}_5$ T : $> 22 \text{ ppm P}_2\text{O}_5$	P-Truog	Alluvial	Padi	Lapang
5 ppm P	P-Olsen	Tanah mineral masam	Padi	Rumah kaca
R : $< 16 \text{ ppm P}_2\text{O}_5$ S : $16-24 \text{ ppm P}_2\text{O}_5$ T : $> 24 \text{ ppm P}_2\text{O}_5$	P-Olsen	Alluvial	Padi	Lapang
S : $< 34 \text{ ppm P}_2\text{O}_5$ T : $> 34 \text{ ppm P}_2\text{O}_5$	P-Olsen	Grumusol	Padi	Lapang

Kelas ketersediaan hara : R = rendah, S = sedang, T = tinggi.

Uji Hara Kalium (K)

Peran hara K pada tanaman adalah memperbaiki pembentukan protein dan asam amino serta dalam proses fotosintesis melalui pengaturan elastisitas stomata. Ketersediaan hara K dalam tanah sangat berhubungan dengan reaksi keseimbangan K yang diilustrasikan sebagai berikut: K tidak dapat ditukar (K-tdd) \leftrightarrow K dapat ditukar (K-dd) \leftrightarrow K larutan yang berhubungan erat dengan tipe mineral liat. Ketersediaan K dalam tanah akan terganggu jika K-dd makin berkurang karena terangkut panen. Pada tanah tertentu, bentuk K-tdd sangat lambat menyuplai K dalam bentuk K-dd, sehingga K larutan makin berkurang. Jika tanaman padi tidak diberi pupuk K dan air irigasi tidak menyuplai hara K, maka tanaman akan kahat K (Middelburgh 1955; Bertsch dan Thomas 1985; Soepartini 1988).

Tanaman padi sawah responsif terhadap pupuk KCl selama K-dd 1 N NH_4OAc pH 7 kurang dari 0,30 cmol(+)/kg sebagai nilai batas kritisnya (Cate dan Nelson 1965; Supardi dan Adiningsih 1982; Adiningsih 1988). Meskipun K-dd 1 N NH_4OAc pH 7 dapat digunakan sebagai penduga ketersediaan K untuk jenis tanah tertentu, penentuan K-dd 1 N NH_4OAc pH 7 di laboratorium untuk tanah yang mengandung banyak mineral liat ilit sering tidak akurat, karena sering dinilai rendah. Rendahnya nilai K-dd disebabkan contoh tanah dikeringkan dahulu, sehingga kation K^+ memasuki kisi-kisi liat dan tidak banyak terekstrak. Jika ditetapkan dengan HCl 25% (K-potensial), nilainya akan sangat tinggi (Hikmatullah dan Al-Jabri 2007). Dari contoh tanah yang sama dengan kondisi tanah basah, penetapan status hara K dengan PUTS akan menghasilkan nilai status hara K sedang (Nurida *et al.* 2007). Oleh karena itu, prosedur penetapan K-dd 1 N NH_4OAc pH 7 di laboratorium untuk tanah yang didominasi oleh mineral ilit perlu dimodifikasi.

Penelitian berbagai metode ekstraksi K pada padi sawah dalam jangka panjang mengindikasikan bahwa

metode ekstraksi K-HCl 25% berkorelasi nyata dengan hasil padi dibanding metode ekstraksi K lainnya. Rekomendasi dipilah menjadi tiga kelas berdasarkan status hara K, yaitu 100 kg KCl/ha untuk status K rendah ($<10 \text{ mg K}_2\text{O}/100 \text{ g}$) serta 50 kg KCl/ha untuk status K sedang ($10\text{-}20 \text{ mg K}_2\text{O}/100 \text{ g}$) dan tinggi ($>20 \text{ mg K}_2\text{O}/100 \text{ g}$) (Tabel 2). Jika jerami padi 5 t/ha dikembalikan ke tanah, maka tanah sawah yang berstatus K rendah perlu diberi 50 kg KCl/ha, sedangkan jika berstatus K sedang dan tinggi, maka pupuk KCl tidak perlu diberikan (Rochayati *et al.* 1990; Sholeh *et al.* 1997; Al-Jabri 2007b, 2008c).

Uji Hara Sulfur (S)

Unsur S berperan membantu pembentukan beberapa jenis protein dalam bentuk sistin, metionin, dan tiamin. Tanaman padi sawah di Indonesia umumnya responsif terhadap pupuk $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ karena ketersediaan hara S di bawah batas kritis (Sudjadi *et al.* 1975; Blair *et al.* 1979; Sulaeman *et al.* 1984; Purnomo *et al.* 1989; Santoso *et al.* 1990) dan suplai S dari air irigasi $<1 \text{ ppm}$ dinilai sangat rendah (Yoshida dan Chaudhry 1972) dibandingkan dengan nilai rata-rata dunia yang mencapai 4,1 ppm (Fried dan Broeshart 1967). Ketersediaan S yang sangat rendah di dalam tanah mengakibatkan hara S yang diserap tanaman padi yang tidak diberi pupuk $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ kurang dari 0,13% (Leyder dan Al-Jabri 1972; Ismunadji *et al.* 1975).

Pemberian pupuk $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ secara terus-menerus pada tanah sawah meningkatkan ketersediaan S tanah lebih tinggi dari batas kritisnya ($>10 \text{ ppm}$) (Al-Jabri *et al.* 2007a, 2007b). Nisbah N/S tanaman padi sawah dapat digunakan sebagai penduga ketersediaan hara S. Batas kritis nisbah N/S adalah 16/1, artinya jika nilainya $<16/1$ maka pupuk $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ tidak perlu diberikan untuk beberapa kali musim tanam guna

Tabel 2. Kelas ketersediaan hara/batas kritis K, jenis pengekrak, jenis tanah, dan tanaman.

Kelas ketersediaan hara	Jenis pengekrak	Jenis tanah	Jenis tanaman	Lokasi percobaan
R: $<10 \text{ mg K}_2\text{O}/100 \text{ g}$ S: $10\text{-}20 \text{ mg K}_2\text{O}/100 \text{ g}$ T: $>20 \text{ mg K}_2\text{O}/100 \text{ g}$	HCl 25%	Tanah sawah	Padi	Lapang
0,26 cmol ₍₊₎ K/kg	Bray 1	Tanah sawah	Padi	Lapang
0,27 cmol ₍₊₎ K/kg	Bray 2	Tanah sawah	Padi	Lapang
0,31 cmol ₍₊₎ K/kg				Lapang
0,40 cmol ₍₊₎ K/kg				Lapang
0,40 cmol ₍₊₎ K/kg	P-Bray 2	Tanah sawah	Padi	Lapang

Kelas ketersediaan hara : R = rendah, S = sedang, T = tinggi.

menghindari keracunan S (Al-Jabri *et al.* 1984b). Sebaliknya, jika nilainya $> 16/1$ maka pupuk $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ perlu diberikan agar tanaman tidak kekurangan S. Rekomendasi pemupukan dilakukan dengan cara mencampur pupuk urea dan $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ secara proposional dengan jumlah N 120 kg/ha (Al-Jabri 2006b; Tabel 3).

Uji Hara Seng (Zn)

Peran Zn dalam tanaman adalah membantu pembentukan zat pengatur tumbuh serta pertumbuhan vegetatif dan biji. Ketidakseimbangan hara dalam hubungannya dengan tanaman padi yang kahat Zn diduga antara lain karena status P tanah sangat tinggi, sehingga Zn diikat oleh P dalam bentuk senyawa ZnP (Al-Jabri *et al.* 1990), atau status Zn-DTPA tanah lebih kecil dari batas kritis (1 ppm Zn), sehingga Zn menjadi faktor pembatas pertumbuhan tanaman. Sangat dimungkinkan nilai Zn-DTPA lebih besar dari batas kritis, tetapi Zn yang diserap tanaman sangat sedikit karena aktivitas Zn ditentukan oleh pH tanah (Al-Jabri *et al.* 1984a), redoks tanah (Eh), dan residu P tanah tinggi. Masalah ini dapat diatasi dengan perendaman bibit padi dalam larutan ZnSO_4 0,05% selama 10 menit (Al-Jabri dan Soepartini 1995).

Tabel 3. Dua puluh satu kombinasi pupuk urea dengan pupuk $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ dengan jumlah nitrogen 120 kg/ha.

Urea (kg/ha)	ZA (kg/ha)/kg S ¹ tersedia /ha dalam tanah
228	83/0
230	79/1
232	75/2
234	71/3
235	67/4
237	63/5
240	58/6
241	54/7
243	50/8
245	46/9
247	42/10
249	38/11
251	33/12
253	29/13
255	25/14
257	21/15
259	17/16
261	13/17
263	8/18
265	4/19
267	0/20

¹ = S tersedia dengan larutan $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ berkadar 500 ppm P.

Pengaruh Zn terhadap hasil padi sudah banyak didokumentasikan (Mat Akhir 1976; Subadiyasa 1988; Al-Jabri *et al.* 1990), tetapi penelitian hubungan aktivitas Zn dengan sifat-sifat tanah pada kondisi reduksi belum banyak dilakukan, sehingga perlu dikaji lebih dalam lagi.

Uji Kemasaman Tanah (pH)

Kemasaman tanah (pH) merupakan indikator ketersediaan hara dalam tanah. Semakin tinggi kemasaman tanah (pH tanah rendah dengan nilai sekitar 4,2), maka ketersediaan hara makro semakin rendah. Sebaliknya, ketersediaan hara mikro terutama Fe makin tinggi sampai tingkat yang dapat meracuni tanaman.

Kemasaman tanah sawah mineral pada lahan bukaan baru nonpasang surut tergolong tinggi dengan pH 4,2 sehingga dianjurkan untuk diberi kapur 1-2 t/ha sebagai amelioran. Kebutuhan kapur sebanyak itu tidak rasional karena tidak menguntungkan. Pemberian dolomit/kalsit 250-500 kg/ha lebih realistis sebagai nutrisi dan menciptakan keseimbangan nisbah Ca/Mg, Ca/K, dan Mg/K dalam tanah (Al-Jabri 2007a).

Pada prinsipnya, penggenangan tanah sawah mineral masam merupakan *self-liming effect* (Al-Jabri 2008b), karena setelah empat minggu penggenangan pH tanah naik 1-2 unit. Tanaman padi dapat tumbuh baik pada kondisi kejenuhan Al $< 60\%$, pH tanah $> 4,2$, kalsium dapat ditukar (Ca-dd) $> 2 \text{ cmol}(+)/\text{kg}$, kejenuhan Ca $> 25\%$, kebutuhan unsur hara N, P, dan K terpenuhi, dan kondisi tanah tergenang (Haby *et al.* 1990).

Produktivitas tanaman padi sawah pada lahan bukaan baru dari ordo tanah Ultisols dan Oxisols di daerah nonpasang surut dan tanah sulfat masam di daerah pasang surut belum maksimal karena tanaman keracunan Fe (Al-Jabri *et al.* 2000a; Hartati dan Al-Jabri 2000; Al-Jabri 2002a; Al-Jabri dan Juarsa 2007) dan ketersediaan hara makro rendah. Hal ini dapat diatasi dengan pemberian pupuk N, P, K, dan kapur tepat waktu, tepat dosis, dan tepat cara. Selain ketersediaan hara makro rendah, masalah fisik tanah dalam hubungannya dengan nilai ketahanan penetrasi lahan sawah bukaan baru dan lama di Sumatera (Al-Jabri 2007c) pada kedalaman 0-5 cm, 5-10 cm, 10-15 cm, 15-20 cm, 20-25 cm antara 14,7-36,8 kg(f)/cm² menjadi kendala pertumbuhan akar. Semakin tinggi nilai ketahanan penetrasi tanah, maka kepadatan tanah semakin tinggi.

Kepadatan tanah di daerah perakaran tanaman padi dapat diatasi dengan memberikan bahan organik dan

bahan lain sebagai pembenah tanah untuk menciptakan ketahanan penetrasi ideal $< 10 \text{ kg(f)/cm}^2$, sehingga perkembangan akar lebih baik dan serapan hara meningkat.

Selama ini, penetapan kebutuhan kapur di laboratorium untuk tanah sawah sulfat masam dengan menggunakan larutan 1 N KCl masih sangat tinggi ($> 5 \text{ t/ha}$), padahal kebutuhan kapur yang sesungguhnya pada kondisi lapang 25-50% lebih rendah (Al-Jabri 2002a). Metode penetapan kebutuhan kapur tersebut telah dimodifikasi dengan mengencerkan larutan ekstraksi menjadi 0,25 N KCl (Al-Jabri 2002a) dan terbukti sesuai dengan konsep kejenuhan kation (Melsted 1953). Penetapan kebutuhan kapur dengan 1 N KCl untuk tanah sulfat masam memberikan nilai pengukuran yang terlalu tinggi, karena struktur mineral liat smektit telah rusak karena oksidasi pirit (Al-Jabri dan Chendy 2000; Al-Jabri *et al.* 2000b; Al-Jabri 2002b).

TEKNOLOGI UJI TANAH MENDUKUNG PEMUPUKAN BERIMBANG SPESIFIK LOKASI

Pemberian pupuk anorganik secara terus-menerus dengan takaran yang melebihi kebutuhan tanaman dapat mengakibatkan ketidakseimbangan hara, karena pH tanah cenderung menurun dan unsur hara dari pupuk P dan K dalam tanah terakumulasi (Darmawan *et al.* 2006), sehingga terjadi *nutrient disorder* (Al-Jabri 2006a). Masalah ini dapat diatasi dengan teknologi uji tanah PHSL yang mengacu pada Permentan No. 40/Permentan/OT.140/4/2007 untuk padi sawah. Pemanfaatan teknologi uji tanah dalam pemupukan berimbang dapat diimplementasikan dengan dukungan informasi lainnya, antara lain peta

status hara P dan K (Moersidi *et al.* 1989), PUTS, dan *fertilizer recommendation software*.

Penerapan teknologi uji tanah telah menghasilkan data analisis hara tanah, terutama P dan K. Data tersebut bermanfaat dalam pembuatan Peta Status Hara P dan K Tanah Sawah skala 1:250.000 untuk 21 provinsi di Indonesia yang diperlukan dalam alokasi kebutuhan pupuk per provinsi. Sementara itu, Peta Status Hara P dan K Tanah Sawah skala 1:50.000 digunakan untuk menetapkan rekomendasi pemupukan P dan K di setiap kecamatan/kabupaten, sebagaimana tercantum dalam Permentan No. 40/2007. Beberapa kabupaten sudah memiliki Peta Status Hara P dan K Tanah Sawah skala 1:50.000, terutama di Jawa Barat, Jawa Tengah, Jawa Timur, Sumatera Utara, dan DI Yogyakarta.

Teknologi PUTS untuk tanah sawah nonpasang surut relatif mudah, cepat, dan murah. PUTS telah banyak digunakan untuk menetapkan rekomendasi pupuk P dan K, sedangkan rekomendasi pupuk N menggunakan bagan warna daun (BWD). Hingga tahun 2011, Balittanah sudah menyebarkan 10.000 PUTS ke sentra-sentra produksi padi.

Penerapan inovasi teknologi uji tanah menggunakan PUTS dan Peta Status Hara P dan K Tanah Sawah untuk menentukan rekomendasi pemupukan berdasarkan uji tanah spesifik lokasi (Tabel 4, 5, 6) dapat menghemat pupuk urea 540.000 ton, SP-36 270.000 ton, dan KCl 270.000 ton (Las *et al.* 2009). Perangkat Uji Tanah Rawa (PUTR) untuk tanah sulfat masam potensial (Al-Jabri *et al.* 2010) daerah pasang surut juga telah dikembangkan dan diluncurkan pada 13 Juli 2011 oleh Kepala Badan Litbang Pertanian pada Pekan Pertanian Rawa Nasional I di Banjarbaru, Kalimantan Selatan, namun perlu dilakukan uji lapang yang lebih luas. Teknologi uji tanah dengan PUTS

Tabel 4. Rekomendasi pupuk urea untuk padi sawah secara konvensional dan berdasarkan bagan warna daun (BWD).

Target kenaikan hasil tanpa N (t/ha)	Teknologi yang digunakan	Rekomendasi (kg/ha)	
		N	Urea
2,5	Konvensional	125	275
	BWD	90	200
	BWD + pupuk kandang 2 t/ha	75	175
3,0	Konvensional	145	325
	BWD	112	250
	BWD + pupuk kandang 2 t/ha	100	225
3,5	Konvensional	170	375
	BWD	135	300
	BWD + pupuk kandang 2 t/ha	125	275

Tabel 5. Rekomendasi pupuk SP-36 untuk padi sawah.

Status hara P tanah	Rekomendasi pupuk SP-36 (kg/ha)
Rendah	100
Sedang	75
Tinggi	50

Tabel 6. Rekomendasi pupuk KCl untuk padi sawah.

Status hara K tanah	Rekomendasi pupuk SP-36 (kg/ha)
Rendah	100 kg/ha atau kg/ha + 5 ton jerami
Sedang	75 kg KCl/ha atau disubstitusi dengan 5 ton jerami/ha
Tinggi	50 kg KCl/ha atau disubstitusi dengan 5 ton jerami/ha

dan PUTR perlu dikembangkan, tidak hanya untuk mengetahui status hara N, P, dan K, tetapi juga hara lain seperti S, Ca, Mg, dan Fe (Al-Jabri dan Syafruddin 2007).

Teknologi uji tanah berupa perangkat lunak *Phosphorus and Kalium Decision Support System* (PKDSS) (Sulaeman dan Nursyamsi 2002) dan Sistem Pakar Pemupukan Padi Sawah (SIPAPUKDI) (Makarim 2007) dengan memanfaatkan nilai uji tanah hara N, P, K, S, Mg, Ca, Cu, Zn, tekstur tanah, KTK, C-organik, dan pH dapat mempercepat penerapan teknologi pemupukan spesifik lokasi. Penggunaan hasil uji tanah jika digabung dengan *Geographical Information System* (GIS) dapat memperkuat perencanaan dan aplikasi *precision farming*.

Sejak periode awal revolusi hijau tahun 1970-1985 sampai periode dosis pemupukan berimbang tahun 1985-2000, telah terjadi ketidakseimbangan hara. Teknologi uji tanah PHSL hendaknya disinergikan dengan inovasi teknologi pembenah tanah untuk meningkatkan efisiensi serapan hara dari pupuk anorganik, sehingga produktivitas tanah dan tanaman meningkat. Pupuk organik dapat diberikan secara berkelanjutan untuk mempertahankan kandungan C-organik tanah > 1,5%. Pemberian zeolit sebagai teknologi nano terbukti meningkatkan serapan hara N dan hasil gabah, tidak hanya pada tanah mineral masam (Al-Jabri 2010b), tetapi juga pada tanah sawah mineral basa dari ordo tanah Vertisols (Al-Jabri 2010a).

Hubungan langsung zeolit sebagai pembenah tanah dengan teknologi uji tanah tidak ada. Hubungan

an tidak langsung zeolit sebagai pembenah tanah dengan teknologi uji tanah terkait dengan manfaat zeolit sebagai pembenah tanah (*soil conditioner*) yang terbukti dapat memperbaiki tanah sawah terdegradasi dan meningkatkan serapan hara pupuk anorganik.

Kementerian Pertanian pada tahun 1998 pernah memberikan subsidi zeolit ke petani di beberapa tempat (Al-Jabri *et al.* 2007c; Talaohu dan Al-Jabri 2008). Namun pemanfaatan zeolit tidak berkelanjutan, karena petani yang sudah menyambut baik zeolit dan memahami manfaatnya sulit membelinya karena tidak tersedia di toko/kios saprodi.

Pemanfaatan zeolit sebagai pembenah tanah perlu didukung pengendalian kualitasnya untuk menghindari pemalsuan. Hasil survei *Participatory Rural Appraisal* (PRA), kerja sama antara Balittanah dan Biro Perencanaan Deptan (2007), menunjukkan bahwa nilai KTK zeolit berdasarkan SNI 13-3494-1994 yang seharusnya > 100 cmol(+)/kg justru banyak yang < 50 cmol(+)/kg (Al-Jabri 2008a).

Pembenah tanah lainnya seperti penyehat tanah bioenergi, pada kondisi di rumah kaca dapat memperbaiki sifat-sifat tanah, yang meliputi: (1) sifat kimia tanah, yaitu menaikkan pH tanah; (2) sifat fisik tanah, menurunkan BD tanah dari > 1,00 g/cc menjadi < 1,00 g/cc sehingga dapat menangkap air lebih banyak, yang ditunjukkan dengan peningkatan air tersedia dari 11,56% menjadi 21,50% dan ruang pori total dari 50,46% menjadi 61,38%; dan (3) sifat biologi tanah, meningkatkan populasi bakteri pelarut P introduksi dari $2,6 \times 10^6$ cfu/g tanah menjadi $2,3 \times 10^8$ cfu/g tanah (Al-Jabri dan Abdurachman 2009).

ARAH DAN STRATEGI PENGEMBANGAN

Arah Pengembangan

Pada masa mendatang, pengembangan teknologi uji tanah diarahkan untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi penggunaan pupuk, melalui penyempurnaan sistem pemupukan berimbang spesifik lokasi dan terpadu antara pupuk anorganik (baik tunggal maupun majemuk) dan pupuk organik serta bahan lain sebagai pembenah tanah.

Strategi Pengembangan

1. Mengganti metode analisis tanah yang semula menggunakan *single nutrient soil analysis* (SNSA)

secara bertahap dengan *multi-nutrient soil analysis* (MNSA) dan uji validasinya pada kondisi tanah sawah di Indonesia.

2. Memvalidasi dan memperbarui peta status hara P dan K skala 1:250.000 dan skala 1:50.000 secara periodik, melalui kerja sama antara Balittanah dan BPTP atau perguruan tinggi.
3. Mengembangkan PUTS dan PUTR, tidak hanya untuk mengukur status hara N, P, dan K, tetapi juga unsur hara lain, seperti S, Ca, Mg, dan Fe.
4. Membangun jejaring kerja dan keterkaitan antara laboratorium uji tanah, seperti laboratorium Balittanah dan kelompok tani, agar petani dapat mengirimkan contoh tanah komposit secara periodik ke laboratorium uji tanah dalam rangka sosialisasi rekomendasi pemupukan berimbang.
5. Menyempurnakan Permentan No. 40/2007 tentang Rekomendasi Pemupukan N, P, dan K pada Padi Sawah dalam upaya meningkatkan akurasi rekomendasi pemupukan spesifik lokasi.
6. Mendekatkan teknologi uji tanah kepada petani sebagai pengguna akhir dengan membentuk klinik uji tanah terpadu (*mobile soil test*) yang bergerak secara proaktif. Upaya ini untuk melengkapi pencapaian *good agricultural practices* (GAP) yang sangat berhubungan dengan *precision farming*, termasuk di dalamnya karakteristik tanah, varietas tanaman, dan penetapan rekomendasi pupuk spesifik lokasi yang tepat jumlah, waktu, dan cara pemberiannya.

KESIMPULAN DAN IMPLIKASI KEBIJAKAN

Kesimpulan

1. Keberhasilan Indonesia dalam meningkatkan produksi pangan, yang ditandai dengan pencapaian swasembada beras pada tahun 1984 dan kemudian diulang pada tahun 2008, antara lain berkat dukungan teknologi pemupukan.
2. Besarnya peran pupuk anorganik dalam peningkatan produktivitas dan pertumbuhan tanaman padi telah mendorong petani menggunakan pupuk secara berlebihan yang ternyata menimbulkan berbagai dampak negatif terhadap tanah dan lingkungan.
3. Teknologi uji tanah SNSA yang telah lama dikembangkan mengalami kemajuan yang pesat, baik dalam hal metode analisis maupun perangkat bantu uji tanah, seperti perangkat uji tanah atau *soil test kits*. Teknologi uji tanah MNSA sebagai teknologi uji tanah baru perlu dikembangkan

sebagai salah satu alat dalam menetapkan dosis pemupukan berimbang spesifik lokasi yang lebih akurat dan mudah diterapkan.

4. Teknologi uji tanah untuk rekomendasi pemupukan berimbang spesifik lokasi pada tanaman padi, termasuk pengembalian jerami dan penggunaan pupuk organik dan bahan lain sebagai pembenah tanah perlu diaplikasikan secepatnya dengan meningkatkan fungsi laboratorium uji tanah.
5. Dengan menggunakan data hasil uji tanah, maka dosis pupuk lebih rasional sesuai dengan status hara tanah dan kebutuhan tanaman, sehingga penggunaan pupuk lebih efisien dan hasil panen optimum.
6. Teknologi uji tanah untuk menentukan rekomendasi pemupukan berimbang spesifik lokasi pada padi sawah dengan menggunakan PUTS telah dikembangkan sejak lima tahun lalu dan mengindikasikan dapat menghemat pupuk secara signifikan.
7. Di setiap sentra produksi padi, perlu dikembangkan jejaring kerja dan pusat pelayanan uji tanah yang dikelola oleh BPTP bekerja sama dengan Balittanah atau perguruan tinggi.
8. Teknologi uji tanah perlu distandarkan untuk dapat diintegrasikan dengan GAP dan *precision farming*, sehingga rata-rata potensi produksi gabah kering >6 t/ha dapat dicapai.

Implikasi Kebijakan

1. Pengembangan teknologi uji tanah dalam berbagai bentuk perangkat uji tanah yang disebarkan kepada penyuluh dan kelompok tani sebaiknya dilakukan secara terpadu dengan program lain.
2. Dalam rangka menyempurnakan rekomendasi pemupukan berimbang spesifik lokasi untuk tanaman padi, Balittanah dan BPTP dapat melakukan kerja sama penelitian dan pengembangan uji tanah nasional di bawah koordinasi BBSDLP, BBP2TP, dan BB Padi.
3. Permentan No. 40/2007 yang mengatur pemanfaatan Peta Status Hara P dan K Tanah Sawah skala 1:50.000 dan PUTS sebagai alat dukung teknologi uji tanah agar disosialisasikan secara intensif.
4. Balittanah dan BPTP di bawah koordinasi BBSDLP, BBP2TP, dan BB Padi perlu bekerja sama untuk memantau dan mengevaluasi status hara tanah makro dan mikro secara periodik, dengan menganalisis contoh tanah dan daun tanaman padi dari sentra produksi untuk mendeteksi gejala kekahatan dan keracunan hara.

5. Penerapan teknologi PUTS perlu dipantau dan dievaluasi untuk menilai efektivitas dan efisiensi penggunaan pupuk anorganik.
6. Petani sebaiknya diberi akses yang mudah dan terjangkau dalam melakukan analisis tanah secara gratis untuk menentukan takaran pemupukan.
7. Badan Standardisasi Nasional perlu merevisi SNI 13-3494-1994 dengan membagi nilai KTK zeolit ke dalam lima kelas, yakni: kelas A = $> 120 \text{ cmol}(+)/\text{kg}$, kelas B = $100\text{-}120 \text{ cmol}(+)/\text{kg}$, kelas C = $80\text{-}100 \text{ cmol}(+)/\text{kg}$, kelas D = $60\text{-}80 \text{ cmol}(+)/\text{kg}$, dan kelas E = $40\text{-}60 \text{ cmol}(+)/\text{kg}$. Jika KTK $< 40 \text{ cmol}(+)/\text{kg}$ maka bahan dikategorikan bukan zeolit.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih, J.S. 1988. Tinjauan hasil percobaan pemupukan kalium. hlm. 31-42. *Dalam* Risalah Seminar Hasil Penelitian Tanah. Pusat Penelitian Tanah, Bogor.
- Adiningsih, J.S. 1992. Peranan efisiensi penggunaan pupuk untuk melestarikan swasembada pangan. Orasi Pengukuhan Ahli Peneliti Utama Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor. 34 hlm.
- Al-Jabri, M., M. Soepartini, dan M.E. Suryadi. 1984a. Pemilihan metode uji Zn dan Cu pada tanah-tanah sawah dari Jawa Barat dan Jawa Timur dengan padi sebagai tanaman indikator. hlm. 271-290. Prosiding No. 4/Penelitian Tanah, Cipayung, 21-23 Februari 1984. Pusat Penelitian Tanah, Bogor.
- Al-Jabri, M., Sulaeman, M. Soepartini, dan J.S. Adiningsih. 1984b. Kadar sulfur dan perbandingan kadar nitrogen terhadap kadar sulfur tanaman padi sebagai penduga kebutuhan sulfur. hlm. 291-304. Prosiding No. 4/Penelitian Tanah, Cipayung, 21-23 Februari 1984. Pusat Penelitian Tanah, Bogor.
- Al-Jabri, M., I M. S. Widjik, A. Hamid, Soeharto, dan M. Soepartini. 1984c. Pemilihan metode uji-P tanah-tanah masam dari Lampung dan Sitiung untuk padi. *Pemberitaan Tanah dan Pupuk* 3: 47-52.
- Al-Jabri, M., O. Koswara, M. Sudjadi, dan L.I. Nasoetion. 1987. Keterkaitan antara parameter uji fosfat tanah dalam memengaruhi nilai uji fosfat untuk tanah-tanah masam. *Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk* 7: 19-23.
- Al-Jabri, M., M. Soepartini, dan D. Ardi S. 1990. Status hara Zn dan pemupukannya di lahan sawah. hlm. 427-464. Prosiding Lokakarya Nasional Efisiensi Penggunaan Pupuk V, Cisarua, 12-13 November 1990. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Al-Jabri, M. dan M. Soepartini. 1995. Teknik pemupukan hara Zn pada tanah sawah. *Risalah Seminar Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat* No. 2: 1-6. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Al-Jabri, M., Sholeh, R.W. Ladiyani, A. Hamid, J.S. Adiningsih, dan I P.G. Widjaja-Adhi. 1997. Penelitian uji fosfat tanah dan analisis tanaman sebagai dasar rekomendasi pemupukan sawah bukaan baru. hlm. 135-153. Prosiding Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat Bidang Kimia dan Biologi Tanah. Puslittanak, Bogor.
- Al-Jabri, M. dan Tf. Chendy. 2000. Perbandingan penentuan kebutuhan kapur untuk padi pada lahan pasang surut di Jambi. hlm. 575-585. *Dalam* Pemanfaatan Sumberdaya Tanah Sesuai dengan Potensinya Menuju Keseimbangan Lingkungan Hidup dalam rangka Meningkatkan Kesejahteraan Rakyat. Prosiding Kongres Nasional VII HITI, Bandung, 2-4 November 1993. Buku I. HITI Komda Jabar, Bandung.
- Al-Jabri, M., Maryam, W. Hartatik, S. Widati, dan D. Sutisni. 2000a. Pengaruh pemberian kapur dan pupuk fosfat terhadap sifat kimia air tanah dan pertumbuhan tanaman padi untuk tanah sulfat masam aktual Belawang, Kalimantan Selatan. hlm. 217-234. Prosiding Seminar Nasional Sumberdaya Lahan. Buku III. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Al-Jabri, M., Maryono, M.E. Suryadi, K. Kusumah, S. Dwiningsih, dan D. Ardi S. 2000b. Pengaruh keberadaan mineral liat smektit terhadap pengukuran kebutuhan kapur untuk tanah sulfat masam aktual. Seminar Nasional Reorientasi Pendayagunaan Sumberdaya Tanah, Iklim, dan Pupuk, Cipayung, Bogor, 31 Oktober-2 November 2000. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Al-Jabri, M. 2002a. Penetapan Kebutuhan Kapur dan Pupuk Fosfat untuk Tanaman Padi (*Oryza sativa* L.) pada Tanah Sulfat Masam Aktual Belawang-Kalimantan Selatan. Disertasi. Program Pasca-sarjana Universitas Padjadjaran, Bandung.
- Al-Jabri, M. 2002b. Teknologi inovatif penetapan kebutuhan kapur untuk tanaman padi pada tanah sulfat masam aktual Belawang, Kalimantan Selatan. Seminar Nasional Peningkatan Produktivitas Melalui Penguasaan Teknologi Inovatif Menuju Kemandirian Industri Pertanian. Persatuan Insinyur Indonesia, Jakarta.
- Al-Jabri, M. 2006a. Penanggulangan *nutrient disorder* pada tanah sawah mineral masam. *Dalam* Inovasi Teknologi Padi Menuju Swasembada Beras Berkelanjutan. Buku 3. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanaman Pangan, Bogor.
- Al-Jabri, M. 2006b. Penetapan rekomendasi pemupukan berimbang berdasarkan analisis tanah untuk padi sawah. *Jurnal Sumberdaya Lahan* 1(2): 25-35.
- Al-Jabri, M. 2007a. Penetapan pupuk K berdasarkan kurva respons serta nisbah Ca/K dan Mg/K untuk padi sawah di Jawa Timur. *Jurnal Akta Agrosia* 10(1): 23-31.
- Al-Jabri, M. 2007b. Respons tanaman padi sawah terhadap pemupukan fosfat dan kalium di Sulawesi Selatan. *Jurnal Wacana Pertanian* 6(2): 59-63.
- Al-Jabri, M. 2007c. Sifat-sifat fisika dan kimia tanah sawah bukaan baru dan lama di Lampung Timur. hlm. 1147-1160. Kongres Nasional IX, Himpunan Ilmu Tanah Indonesia (HITI), 5-7 Desember 2007. UPN "Veteran" Yogyakarta Press. Buku 2.
- Al-Jabri, M. dan I. Juarsa. 2007. Produktivitas tanaman padi sawah pada tanah mineral masam di Lampung Timur. hlm. 301-309. Kongres Nasional IX Himpunan Ilmu Tanah Indonesia (HITI), 5-7 Desember 2007. UPN "Veteran" Yogyakarta Press. Buku 1.
- Al-Jabri, M. dan Syafruddin. 2007. Perangkat uji tanah sawah versus analisis tanah di laboratorium untuk rekomendasi pemupukan padi di Sulawesi Tengah. hlm. 139-152. Prosiding Seminar Nasional BPTP Sulawesi Tengah, Palu, 24-25 Juli 2007.
- Al-Jabri, M., A. Dariah, dan A. Rachman. 2007a. Teknologi Pemupukan Spesifik Lokasi dan Konservasi Tanah di Desa Lantapan, Kecamatan Galang, Kabupaten Toli-Toli. Balai Penelitian Tanah, Bogor. 30 hlm.
- Al-Jabri, M., D. Erfandi, dan A. Rachman. 2007b. Teknologi Pemupukan Spesifik Lokasi dan Konservasi Tanah di Desa Tonggolobibi, Kecamatan Sojol, Kabupaten Donggala. Balai Penelitian Tanah, Bogor. 28 hlm.
- Al-Jabri, M., S.H. Tala'ohu, T. Vadary, E. Santoso, I. Juarsa, M.T. Sutriadi, dan H. Sastra. 2007c. Revitalisasi pemanfaatan bahan

- pembenah tanah untuk meningkatkan efisiensi pemupukan. Laporan Kerja Sama Penelitian antara Biro Perencanaan Sekretariat Jenderal Departemen Pertanian.
- Al-Jabri, M. 2008a. Kajian metode penetapan kapasitas tukar kation zeolit sebagai pembenah tanah untuk lahan pertanian terdegradasi. *Jurnal Standardisasi* 10(2): 56-63.
- Al-Jabri, M. 2008b. Pengelolaan hara terpadu pada lahan sawah dalam hubungannya terhadap inovasi teknologinya menunjang P2BN. hlm. 1-20. *Dalam Teknologi Pengelolaan Sumberdaya Lahan*. Prosiding Seminar Nasional dan Dialog Sumberdaya Lahan Pertanian. Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian, Bogor.
- Al-Jabri, M. 2008c. Respons tanaman padi sawah terhadap pupuk KCl di Lombok dan hubungannya dengan nisbah kation-kation dapat ditukar. *Jurnal Wacana Pertanian* 7(1): 43-46.
- Al-Jabri, M. dan S. Abdurachman. 2009. Inovasi teknologi penyehat tanah bioenergi untuk perbaikan sifat fisik, kimia, dan biologi tanah sawah mineral masam dan pertumbuhan tanaman padi. hlm. 569-591. *Prosiding Seminar Nasional Inovasi Teknologi Padi untuk Mempertahankan Swasembada dan Mendorong Ekspor Beras*. Buku 2, Balai Besar Penelitian Tanaman Padi, Sukamandi.
- Al-Jabri, M. 2010a. Nano technology of zeolite mineral for slow release nitrogen of urea fertilizer on Vertisols paddy soil. *International Conference on Materials Science and Technology (ICMST)*. Materials Science & Technology. First Ed. pp. 205-210. PT BIN-BATAN, Jakarta.
- Al-Jabri, M. 2010b. Penggunaan mineral zeolit sebagai pembenah tanah pertanian dalam hubungan dengan standarisasinya dan peningkatan produksi tanaman pangan. *Jurnal Zeolit Indonesia* 9(1): 1-12.
- Al-Jabri, M., E. Iskandar, dan L. Anggria. 2010. Perakitan perangkat uji tanah sawah untuk menetapkan rekomendasi pemupukan secara cepat di lahan sulfat masam. *Kerja Sama antara Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Sumberdaya Lahan Pertanian dan Kementerian Riset dan Teknologi*.
- Apriyantono, A., S.G. Irianto, Suyamto, I. Las, T. Sudaryanto, and T. Alihamsyah. 2009. Indonesian experience: Regaining rice self-sufficiency. Indonesian Ministry of Agriculture, Jakarta. 49 pp.
- Bertsch, P.M. and G.W. Thomas. 1985. Potassium status of temperate region soils. pp. 131-162. *In* Munson (Ed.) Potassium in Agriculture. Am. Soc. Agron. Crop Sci. Soc. Am., Madison, Wisconsin, the USA.
- Blair, G.J., U.A. Pangerang, C.P. Mamaril, E.O. Momuat, and Christine. 1979. The sulphur nutrition of rice. I. A survey of soils of South Sulawesi, Indonesia. *Agron. J.* 71: 473-477.
- Cate, R.B. and L.A. Nelson. 1965. A rapid method for correlation of soil test analysis with plant response data. *Tech. Bull. No. 1*, ISFEI series, North Carolina State Univ., Raleigh, N.C.
- Darmawan, K. Kyuma, A. Saleh, H. Subagjo, T. Masunaga, and T. Wakatsugi. 2006. Effect of green revolution technology during period 1970-2003 on sawah soil properties in Java, Indonesia: II. Change in the chemical properties of soils. *Soil Sci. Plant Nutr.* 52: 645-653.
- Djaenudin, D., H. Marwan, H. Subagjo, dan A. Hidayat. 2003. *Petunjuk Teknis Evaluasi Lahan untuk Komoditas Pertanian*. Balai Penelitian Tanah, Bogor. 154 hlm.
- Fried, M. and H. Broeshart. 1967. *The Soil-Plant Systems in Relation to Inorganic Nutrition*. Academic Press, N.Y.
- Haby, V.A., M.P. Russelle, and E.O. Skogy. 1990. Testing soils for potassium, calcium, and magnesium. pp. 181-228. *In* Westerman (Ed.) *Soil Testing and Plant Analysis*. Third Ed. Soil Sci. Soc. Am., Inc., Madison, Wisconsin, the USA.
- Hallmark, C.T., L.P. Wilding, and N.E. Smeck. 1982. Silicon. pp. 263-274. *In* R.H. Miller and D.R. Keeney (Eds.). *Methods of Soils Analysis, Part 2*. ASA-SSSA, Madison, Wisconsin, the USA.
- Hanson, R.G. 1994. Soil testing for efficient fertilizer recommendation in regional research and development. A Part of Project Pre-Appraisal. *Agricultural Research Management Project*. Applied Agriculture Research and Development, Jakarta. 244 pp.
- Hartati, W. dan M. Al-Jabri. 2000. Pengaruh pemupukan P dan K terhadap sifat kimia dan hasil padi pada sawah bukaan baru Ultisols Tugumulyo, Sumatera Selatan. hlm. 201-215. *Prosiding Seminar Nasional Sumberdaya Lahan*. Buku III. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Hikmatullah and M. Al-Jabri. 2007. Soil properties of the alluvial plain and its potential use for agriculture in Donggala Region, Central Sulawesi. *Indones. J. Agric. Sci.* 8(2): 67-74.
- Ismunadji, M., I. Zulkarnaini, and M. Miyake. 1975. Sulphur deficiency in lowland rice in Java. *Contr. Res. Inst. Agric. Bogor*, No. 14.
- Jones, J.B., Jr. and B. Wolf. 1984. *Manual of Soil Testing Procedure Using Modified (Wolf) Morgan Extracting Reagent*. Benton Lab., Inc, Athens, Georgia. 62 pp.
- Las, I., K. Subagyo, dan A.P. Setiyanto. 2006. Isu dan pengelolaan lingkungan dalam revitalisasi pertanian. *Prosiding Seminar Multifungsi dan Revitalisasi Pertanian*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian dan Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries, Japan, Jakarta, 27-28 Juni 2006.
- Las, I., S. Rochayati, D. Setyorini, A. Mulyani, dan D. Subardja. 2009. Peta potensi penghematan pupuk anorganik dan peningkatan penggunaan pupuk organik. *Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, Jakarta.
- Leyder, R.A. and M. Al-Jabri. 1972. Sulphur deficiency under conditions of wet rice cultivation with special reference to a Vertisols near Ngawi, East Java. *Newsl. Soil Study Group, Bogor* 1/2: 21.
- Makarim, A.K. 2007. Aplikasi Ekofisiologi dalam Sistem Produksi Padi Berkelanjutan. Orasi Pengukuhan Profesor Riset Bidang Fisiologi Tanaman, Bogor, 25 Juni 2007. *Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian*, Jakarta.
- Mat Akhir, A. 1976. Pengaruh Pemberian Tembaga atau Seng dan Tahun Pengusahaan terhadap Pertumbuhan, Produksi dan Penyerapan Hara Padi Varietas Pelita I/1 dalam Keadaan Tergenang dan Jenuh Air pada Tanah Organik Delta Upang dan Latosol Darmaga. Tesis. Fakultas Pertanian Institut Pertanian Bogor.
- Melsted, S.W. 1953. The basic cation saturation concept of lime and potassium recommendation on Delaware's Coastal Plain Soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 45: 544-549.
- Middelburg, H.A. 1955. Potassium in tropical soils: Indonesia Archipelago. pp. 221-257. *In* Potassium Symposium. Int. Potash Inst., Bern, Switzerland.
- Moersidi, S., D. Santoso, M. Soepartini, M. Al-Jabri, J.S. Adiningsih, dan M. Sudjadi. 1989. Peta keperluan fosfat tanah sawah di Jawa dan Madura. *Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk* 8: 13-25.
- Nurida, N.L., M. Al-Jabri, dan A. Rachman. 2007. Teknologi pemupukan spesifik lokasi dan konservasi tanah di Kelurahan Kayumalue, Kecamatan Palu Utara, Kota Palu. *Badan Penelitian Tanah*, Bogor. 32 hlm.

- Pirngadi, K. 2009. Peran bahan organik dalam meningkatkan produksi padi berkelanjutan mendukung ketahanan pangan nasional. *Pengembangan Inovasi Pertanian* 2(1): 48-64.
- Purnomo, D. Santoso, dan Heryadi. 1989. Status belerang tanah sawah di Jawa. Pusat Penelitian Tanah, Bogor.
- Rochayati, S., Mulyadi, dan J.S. Adiningsih. 1990. Penelitian efisiensi penggunaan pupuk di lahan sawah. *Prosiding Lokakarya Nasional Efisiensi Penggunaan Pupuk V*, Cisarua, 12-13 November 1990. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Santoso, D., Heryadi, Sukristiyonubowo, dan J. Purnomo. 1990. Pemupukan belerang di lahan sawah. hlm. 241-252. *Prosiding Lokakarya Nasional Efisiensi Penggunaan Pupuk V*, Cisarua, 12-13 November 1990. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Sholeh, M. Al-Jabri, I G.M. Subiksa, I P.G. Widjaja-Adhi, dan J.S. Adiningsih. 1996. Penelitian uji P tanah untuk padi sawah pada beberapa tipe tanah. hlm. 25-38. *Prosiding Pertemuan Pembahasan dan Komunikasi Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat Bidang Kesuburan dan Produktivitas Tanah*, Buku III. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Sholeh, M. Al-Jabri, I G.M. Subiksa, I P.G. Widjaja-Adhi, dan J.S. Adiningsih. 1997. Uji tanah K untuk padi sawah pada beberapa tipe tanah. *Dalam* Penatagunaan Tanah sebagai Perangkat Penataan Ruang dalam Rangka Meningkatkan Kesejahteraan Rakyat. *Prosiding Kongres Nasional VI HITI*, Jakarta, 12-15 Desember 1995. Buku I: 625-636.
- Sing, R.B. 2000. Environmental consequences of agricultural development: A case study from the green revolution state of Haryana, India. *Agric., Ecosyst. Environ.*, 82: 97-103.
- Soepartini, M. 1988. Penilaian ekstraksi kalium tanah. hlm. 83-88. *Risalah Seminar Hasil Penelitian Tanah*. Pusat Penelitian Tanah, Bogor.
- Subadiyasa, I.N.N. 1988. Evaluasi Ketersediaan dan Pengaruh Pemberian Seng terhadap Produksi Padi dan Kacang Tanah pada Tanah Sawah di Bali. Tesis. Fakultas Pascasarjana, Institut Pertanian Bogor.
- Sudjadi, M., J.S. Adiningsih, and M. Al-Jabri. 1975. The efficiency of several nitrogenous fertilizers and the nitrogen uptake by rice grown on a montmorillonitic clay soil. *Third ASEAN Soil Conference*, Kuala Lumpur, Malaysia, 26 November-5 December 1975.
- Sulaeman, M. Soepartini, dan M. Sudjadi. 1984. Hubungan antara kadar belerang tersedia dalam tanah dengan respons tanaman padi sawah. *Pemberitaan Penelitian Tanah dan Pupuk* 3: 20-26.
- Supardi, S. dan J.S. Adiningsih. 1982. Korelasi antara kalium terekstrak dengan bahan kering dan kalium diserap tanaman. *Prosiding Penelitian Tanah* No. 3: 171-178. Cipayung 13-15 Desember. Pusat Penelitian Tanah, Bogor.
- Sulaeman, Y. dan D. Nursyamsi. 2002. Penuntun Menggunakan PKDSS (*Phosphorus and Potassium Decision Support System*). Perangkat lunak untuk menghitung dosis pupuk berdasarkan uji tanah. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Suryana, A., Suyamto, S. Abdurachman, I P. Wardana, H. Sembiring, I N. Widiarta. 2007. *Petunjuk Teknis Lapang Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT) Padi Sawah Irigasi*. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian, Jakarta.
- Talaohu, S.H. dan M. Al-Jabri. 2008. Mengatasi degradasi lahan melalui aplikasi pembenah tanah: Kajian persepsi petani di Kabupaten Malang, Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Zeolit Indonesia* 7(1): 23-35.
- Westerman, R.L. 1990. *Soil Testing and Plant Analysis*. Third Edition. Soil Sci. Soc. Am., Inc., Madison, Wisconsin, the USA. 784 pp.
- Widjaja-Adhi, I P.G. 1993. Konsep pengelolaan hara tanaman berdasarkan uji tanah dan analisis tanaman. Makalah disajikan dalam Seminar Hasil Penelitian Balittan Malang, 17-19 Februari 1993. Balittan, Malang.
- Widjik, I M., M. Al-Jabri, dan M. Soepartini. 1984. Perbandingan tanah dengan pengekstrak dan waktu kocok untuk penetapan P tersedia dengan metode Truog dimodifikasi. *Pemberitaan Tanah dan Pupuk* 3: 52-56.
- Yoshida, S. and M.R. Chaudhry. 1972. Sulphur nutrition of rice. *IRRI Saturday Seminar*, 1 March 1972.
- Zaini, Z. 2009. Memacu peningkatan produktivitas padi sawah melalui inovasi teknologi budi daya spesifik lokasi dalam era revolusi hijau lestari. *Pengembangan Inovasi Pertanian* 2(1): 35-47.